

着香とパッキン劣化による異物混入対策

—複合パッキンとパッキンレス熱交換器の開発—

株式会社イズミフードマシナリ

機器部技師

清水 博文

●はじめに

従来より果汁系飲料、スポーツドリンク等には様々な香料（フレーバーオイル）が使用されてきたが、最近の傾向として茶系飲料にも香料を使用することが多くなり、本来お茶のもつ香りを再現することが可能になってきた。

一方、香料によるゴムパッキンへの着香から製品への移香の問題が顕在化しており、製品切り替え時（フレーバーチェンジ）には、強い薬剤を使用した長時間のCIPを余儀なくされている。また、強い薬剤を使用することでゴムパッキンが短時間で劣化して表面が崩壊し、これが製品中に異物として混入する問題を引き起こしている。

本稿ではこれらゴムパッキンでのトラブルの原因を調査するとともに、その対策方法について紹介する。

1. ゴムパッキンの問題点

(1) 香料のゴムへの着香

オレンジ等の天然果汁には、リモネンに代表される天然の香油成分（テルペノン系炭化水素）が含まれている。また、食品に添加される合成香料（フレーバーオイル）にもこの香油成分が多く含まれている。着香はこの香油成分がゴム中に浸透→蓄積（膨潤）されることにより発生する現象と考えられる。

H社のスポーツドリンク製造ラインの例では、EPDM製の継手パッキン、バルブパッキンおよびプレート式熱交換器のパッキンについて、特に高温部では短時間で膨潤劣化し、また着香が激しいとの報告があった。

そこで、その原因および対策のため次の分析およびテストを実施した。

①着香成分の定性分析

500時間使用後のプレートパッキンをバイアルびんにて精秤・密閉した後、恒温器により250°Cで1時間加熱を行ない、気相部より発生したガス1mlをGC/MS法により測定し、ライブラリー検索により解析を行なった。結果リモネンが多量に存在することがわかった。

②リモネンの定量分析

次にスポーツドリンクに含まれるリモネン量と、使用済みプレートパッキンに含まれるリモネン量の定量分析を行なった。結果、製品（PETボトル）中にごく微量含まれるリモネン（20μg/g）が、わずか500時間の運転でパッキン重量の1.8%（18,000μg/g）を占めるまでに浸透、蓄積されることがわかった。

③EPDMパッキンの間欠的リモネン浸漬試験

H社のように、製品運転とCIPを繰り返す飲料製造プラントにおけるゴムの着香プロセスを探るために、EPDMゴムをリモネンに所定時間浸漬し（製品運転を想定）、次いで水中に所定時間置き（CIPを想定）、再びリモネンに浸漬することを24時間周期で繰り返し、重さの変化を測定した。

結果、リモネンはEPDMパッキンから水中に溶出されないため、リモネンに浸漬された時間分だけパッキン中に浸透・蓄積

されることがわかった。すなわち、実ラインにおいて製品運転時にEPDMパッキン中に蓄積されたりモネンは、その後のCIPあるいは他の製品運転でも溶出せず、製品運転ごとにリモネンの蓄積量が増加し、最終的に飽和に達することがわかった。

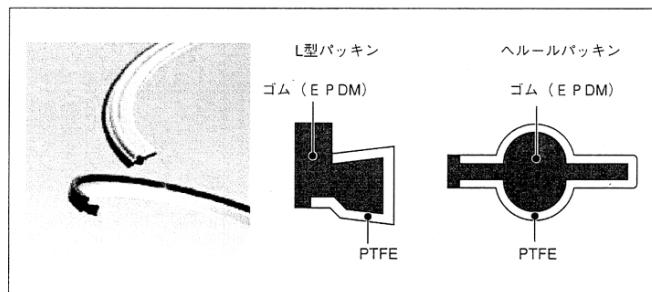
(2) 洗剤に含まれる塩素化合物によるEPDMゴムの破壊現象

EPDMゴムには20~40%のカーボンブラック（CB）が添加されている。これはゴム自身を頑丈にするためであり、各種物性の向上、特に耐摩耗性が格段に向上する。

一方、前項で述べたゴムパッキンの着香問題に対し、実際のCIPでは次亜塩素酸あるいは過酢酸等での洗浄工程を設けたり、塩素系アルカリ洗剤や酸素系アルカリ洗剤のような強い薬剤が使用されている。しかしながらこれらCIPの工夫によってもゴムの着香を完全に除去しきれていないのが現状である。

しかも、これら洗剤に含まれる塩素化合物がCBに吸着され酸化作用を促進することにより、架橋反応、酸化反応、塩素化反応をEPDM分子鎖に生じ

〈図1 サニタリー継手用テフラップパッキン断面図〉



させる。その結果、EPDMゴム表面からCBが離脱し、さらに進行することで表面がボロボロになってゴム材が崩壊離脱し、これらが異物混入の原因になっていると考えられる。

2. 耐薬品性複合パッキン「テフラップ」の開発

EPDMゴムパッキンは、前述のような問題点があり、着香問題解決のため素材や対策を検討した。

フッ素ゴムは、耐油性ゴムの代表格であり、フレーバーオイルに対しても優れた耐膨潤劣化性と耐着香性を有している。しかしながら、フッ素ゴムであっても加硫ゴムである以上CBを含有しており、塩化物によるゴム表面の破壊→異物混入の可能性がある。またフッ素ゴムはEPDMゴムに比べ、引き裂き強さなどの機械的強度が劣り、急激な温度変化やウォーターハンマー等の急激な圧力変動のあるようなプロセスラインで使用した場合、欠け・割れ等が発生することがある（異物混入）。それに加え、価格もEPDMゴムの10～15倍と高価である。

そこで当社では、フッ素樹脂PTFEを用い、これを低圧縮・強引き裂きの特殊配合EPDMゴムの表面に被覆（ラップ）した耐薬品性複合パッキン「テフラップ」を開発した。

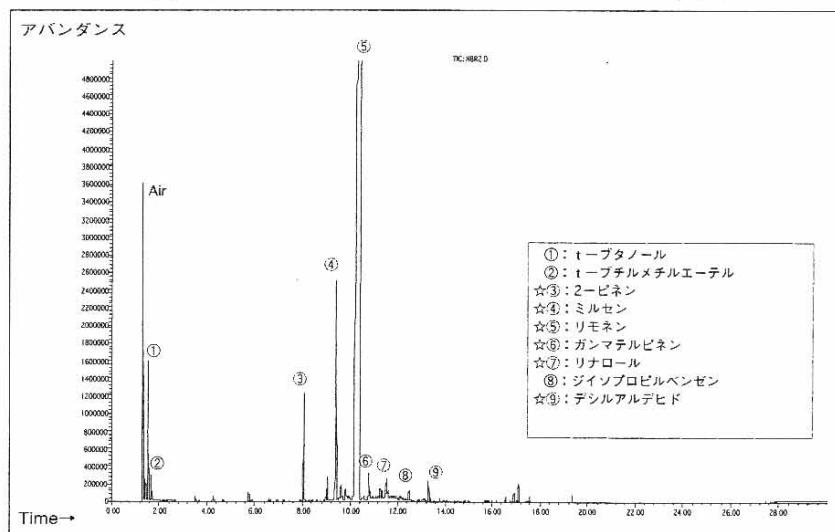
（1）構造

「テフラップ」パッキンは、EPDMパッキンの外層にフッ素樹脂PTFE（四フッ化エチレン樹脂）フィルムを同時に加硫接着した耐薬品性複合パッキンである（図1）。

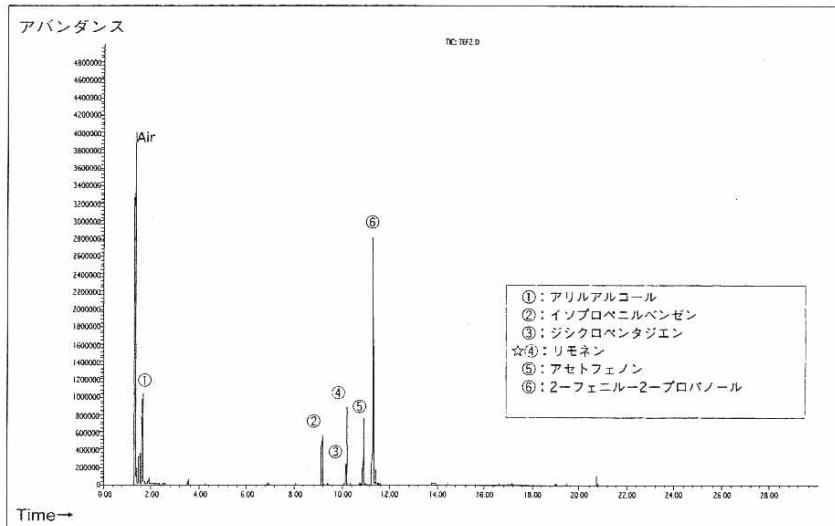
内層のEPDMは他のゴム材に比べ経済性に優れており、また耐薬品性、耐水性、耐蒸気性に優れている。これをPTFEと複合させるにあたっては、PTFEのクリープ現象*を補うために低圧縮・強引き裂きの特殊配合耐熱EPDMを開発し、採用した。

一方、外層のPTFEはフッ素樹脂の中でも最も均整のとれた樹脂で、他の樹脂に比べ柔軟性に優れており、また耐熱性、耐薬品性、耐浸透性、非粘着性に優れている。この一枚物のフィルム（継ぎ目なし）をEPDMゴムと同時に加硫接着したものがテフラップであり、フィルムとゴム間には隙間がなく、ま

〈図2 使用済みH-NBRのGC-MSトータルイオンクロマトグラフ〉



〈図3 使用済みテフラップのGC-MSトータルイオンクロマトグラフ〉



た継ぎ目からの液浸透のリスクがない、完全サニタリータイプの耐薬品性複合パッキンである。

*クリープ現象：プラスチック（可塑性）物質が連続荷重を受けると、時間とともに連続的に変化していく。これをクリープまたはコールド・フローと呼ぶ。

（2）実機による確認テスト

J社にて実際に飲料殺菌に使用されているプレート式熱交換器にテフラップを装着し、着香に対する確認テストを実施した。

処理液と運転時間：

柑橘系ジュース	192時間
アップル系ジュース	21時間
グレープ系ジュース	20時間
その他	37時間
製品運転合計時間	270時間
殺菌温度：95～98℃	

分析は、この270時間運転後のテフラップおよび比較用にH-NBR（アクリロニトリルブタジエンゴム／水素化NBR）を用い、官能検査、加熱ガスの定性分析および、リモネンの定量分析を実施した。

①官能検査結果

CIP後プレート熱交換器を分解した直後のテフラップおよびH-NBRパッキンの官能検査を実施した。その結果、H-NBRには強い柑橘系のにおいがあったのに対し、テフラップには全くそのにおいはしなかった。

②定性分析結果

分析方法は、前述のゴムパッキン（1-(1)-(1)）と同じ。ただし加熱温度は150°Cである。

H-NBRの分析結果を図2に示す。

☆印を付したガスが製品液から浸透し

た香油成分であり、それ以外はゴム由来の成分である。実に多種の香油成分が浸透しており、その中でもリモネンのピーク値がズバ抜けて高いことがわかる。

一方、テフラップの分析結果を図3に示す。製品液によるものはリモネンのみである。

③定量分析結果

H-NBRのリモネン量10,100 $\mu\text{g}/\text{g}$ に対し、テフラップは58 $\mu\text{g}/\text{g}$ でありH-NBRの1/174であった。

テフラップの58 $\mu\text{g}/\text{g}$ については、非接液側（外気側）はEPDMゴムが露出しているため、プレート式熱交換器分解直後にH-NBR側から蒸発したリモネンがこの露出したEPDMゴムに付着→浸透したものと考える。したがって実際のプレート組み付け状態では、テフラップの接液側PTFEフィルムから浸透→蓄積したリモネン量は、ほぼゼロに近かったと考えられる。

以上の実機テストにより、テフラップの耐着香性が検証できた。

3. CIP液加熱器のパッキンレス化

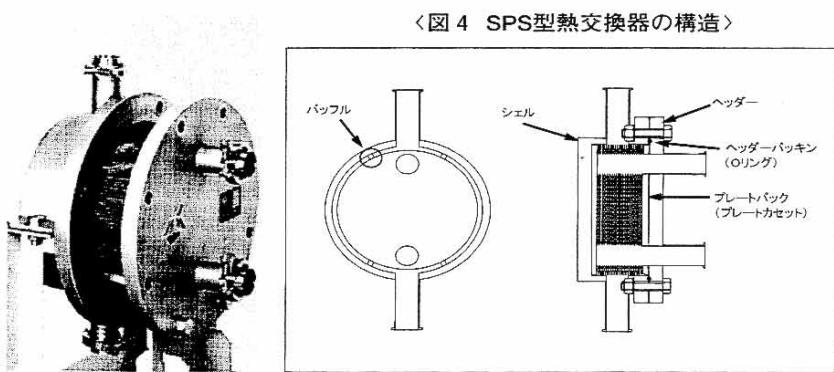
CIP液の加熱器としては、パッキンタイプのプレート式熱交換器が一般的に用いられてきた。しかしながら前項で述べたように、ゴムパッキンによる異物混入問題や、強力な洗剤の液洩れに対する危険性が指摘されている。

したがって、近年ではこのプレート式熱交換器をチューブ式熱交換器（以下S&T式熱交換器）のようなゴムパッキンとの接触リスクの極力少ない加熱器に取り替える動きが急加速している。

この動きに対し、弊社が2000年度に市場投入した「CIP専用全溶接型プレート&シェル式熱交換器」（以下SPS型熱交換器）について紹介する。

4. CIP専用全溶接型プレート&シェル式熱交換器の開発

パッキンタイプのプレート式熱交換器ではプレートの周囲にゴムパッキンがあり、これを締め付けることでシール性を保持している。したがって、最高使用圧力および最高使用温度がS&T式熱交換器に比べ低く、またパッキン材質に対し処理液に制約があったり、前述したような異物混入の問題が



▲SPS型熱交換器外観（プレートパックをシェルから引き出した状態）

発生する場合がある。しかしながらプレート式熱交換器はS&T式熱交換器に比べ伝熱係数が高く、コンパクトでかつイニシャルコストが安いなどの利点を有している。

SPS型熱交換器は、これらプレート式熱交換器とS&T式熱交換器の両方の利点を取り入れたパッキンレスタイプのCIP専用熱交換器である。

(1) 構造

SPS型熱交換器はプレートパックとシェルで構成されており、チューブ式熱交換器のチューブをプレートに置き換えたシンプルな構造である（図4）。

プレートカセットは、ステンレス板を円盤状にプレス加工したものを2枚重ね合わせ、互いの液出入口をレーザー溶接したものである。このプレートカセットどうしの周囲をTig溶接し積み重ねることで、一体型のプレートパックが形成されている。

(2) 特徴

①最終製品の安全性が向上

レーザー/Tig溶接によるパッキンレス構造のため液洩れの問題や異物混入の心配が全くなく、作業環境の改善とともに最終製品に対する安全性が向上する。

②高耐圧&高耐熱

パッキンレス構造のため、最高使用圧力2.5MPa、最高使用温度250°Cでの使用が可能。したがって、従来に比べより高圧・高温でのCIPが可能になるため、CIP工程&時間を大幅に短縮し、また節水することが可能になる。

③高性能&コンパクト

プレート式熱交換器の特長を最大限に生かすことで、S&T式熱交換器の2倍以上の高い総括伝熱係数（U値）を得ることができる（水ースチーム加熱

〈図4 SPS型熱交換器の構造〉

で、U=4,000~6,000W/m²·°C）。

またプレート式熱交換器に比べ、シャフトや締め付けボルトが不要のため、設置スペースを1/5以下に抑えることが可能である。

④低価格

構成部品が少なく構造が簡単なため、従来のプレート式熱交換器に比べ、価格は1/2~1/3である。また、パッキンレスのため、パッキン交換等の維持管理費が全く不要になる。

●おわりに

食品プラントにおいては様々な機器にゴムパッキンが使用されている。着香・異物混入問題を根本的に防止するためには、プロセスライン全体のゴムパッキンの見直しおよび設備全体でのパッキンレス化が必要になる。

これに対して弊社では、既にサニタリー継手パッキン、サニタリータンク用マンホールパッキンおよび液面計用パッキン、サニタリーバルブ用シートリングおよびボディーパッキンのテフラップ化も完了しており、全プロセスラインのテフラップ化を推し進めているところである。

パッキンレス化においても、全溶接型プレート&シェル式熱交換器を、手はじめとしてCIP洗浄液加熱用に採用している。これらの採用によりこの着香・異物混入問題の解決に貢献したいと考えている。

〔参考文献〕

古川睦久：材料トラブル調査ファイル「水道水によるEPDM製パッキンの破壊」、工業材料 7月号（1997）

□本稿に関する詳細はリーダーサービスカードNo.387でお問い合わせください。